

06519 US  
セーダン

日本国特許庁  
PATENT OFFICE  
JAPANESE GOVERNMENT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。  
This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

出願年月日  
Date of Application:

2000年 3月29日

出願番号  
Application Number:

特願2000-090427

出願人  
Applicant(s):

株式会社ニコン

1c979 U.S. PRO  
09/819977  
03/29/01

2001年 1月 5日

特許庁長官  
Commissioner,  
Patent Office

及川耕造

出証番号 出証特2000-3109734

【書類名】 特許願

【整理番号】 00-00076

【提出日】 平成12年 3月29日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G01B 11/00  
H01L 21/304

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン  
                                内

    【氏名】 阿部 啓之

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン  
                                内

    【氏名】 上田 武彦

【特許出願人】

    【識別番号】 000004112

    【氏名又は名称】 株式会社ニコン

    【代表者】 吉田 庄一郎

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 005223

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 工程終了点測定装置及び測定方法及び研磨装置及び半導体デバイス製造方法及び信号処理プログラムを記録した記録媒体

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板への絶縁膜もしくは金属電極膜の成膜工程、または前記膜の除去工程における工程終了点を、前記基板面に光を照射し、その反射信号光または透過信号光の片方または両方を検出して得られる信号波形から測定する測定装置であり、前記信号波形から二つ以上の特徴量を抽出する特徴量抽出部と、前記二つ以上の特徴量を用い論理演算を行い工程終了点を判定する論理演算部と、を具えることを特徴とする測定装置。

【請求項 2】 前記信号波形が、分光波形であり、且つ前記特徴量が、前記信号波形中の極大値と、最大極大値と、極小値と、最小極小値と、極大値／極小値と、最大極大値／最小極小値と、隣接する極大値・極小値対に対する $|極大値 - 極小値|$ と、複数の前記極大値・極小値対に対する各 $|極大値 - 極小値|$ の加算値と、前記信号波形の積分値と、前記各特徴量の 1 回及び 2 回の時間微分係数の群と、前記時間微分係数の正負の符号の群と、から成る特徴量群から選ばれることを特徴とする請求項 1 記載の測定装置。

【請求項 3】 前記論理演算部が、ファジイ推論を使用して判定することを特徴とする請求項 1 ～ 2 何れか 1 項記載の測定装置。

【請求項 4】 前記ファジイ推論に於いて使用するメンバーシップ関数を、前記特徴量から演算した値により測定中にチューニングすることを特徴とする請求項 3 記載の測定装置。

【請求項 5】 基板への絶縁膜もしくは金属電極膜の成膜工程、または前記膜の除去工程における工程終了点を、前記基板面に光を照射し、その反射信号光または透過信号光の片方または両方を検出して得られる信号波形から抽出される特徴量の変化から測定する測定装置であり、前記信号波形から特徴量を抽出する特徴量抽出部を具え、且つ前記信号波形が、分光波形であり、尚且つ前記特徴量が、前記信号波形中の隣接する極大値・極小値対に対する $|極大値 - 極小値|$ 、または複数の前記極大値・極小値対に対する各 $|極大値 - 極小値|$ の加算値、また

は前記信号波形の積分値であることを特徴とする測定装置。

【請求項 6】 前記特徴量を前記信号波形を規格化した波形から抽出することを特徴とする請求項 1 ～ 5 何れか 1 項記載の測定装置。

【請求項 7】 基板への絶縁膜もしくは金属電極膜の成膜工程、または前記膜の除去工程における工程終了点を、前記基板面に光を照射し、その反射信号光または透過信号光の片方または両方を検出して得られる信号波形から測定する測定方法であり、前記信号波形から二つ以上の特徴量を抽出する段階と、前記二つ以上の特徴量を用い論理演算して判定を行う段階と、を具えることを特徴とする測定方法。

【請求項 8】 基板への絶縁膜もしくは金属電極膜の成膜工程、または前記膜の除去工程における工程終了点を、前記基板面に光を照射し、その反射信号光または透過信号光の片方または両方を検出して得られた信号波形から抽出される特徴量の変化により測定する測定方法であり、前記信号波形が、分光波形であり、且つ前記特徴量が、前記信号波形中の隣接する極大値・極小値対に対する  $| \text{極大値} - \text{極小値} |$ 、または複数の前記極大値・極小値対に対する各  $| \text{極大値} - \text{極小値} |$  の加算値、または前記信号波形の積分値であることを特徴とする測定方法。

【請求項 9】 基板を保持する保持部と、研磨体と、請求項 1 ～ 6 何れか 1 項記載の測定装置と、を具え、前記基板と前記研磨体との間に研磨剤を介在させた状態で、前記基板と前記研磨体との間に荷重を加え、双方の間に相対運動を与えることにより基板を研磨する際に、工程終了点の測定が可能ないようにされたことを特徴とする研磨装置。

【請求項 10】 請求項 9 記載の研磨装置を用いて半導体ウェハの表面を研磨する段階を具えることを特徴とする半導体デバイス製造方法。

【請求項 11】 コンピュータを「請求項 1 ～ 6 の何れか 1 項記載の特徴量抽出部及び論理演算部、または特徴量抽出部」として機能させるための信号処理プログラムを記録した機械読み取り可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、例えばLSIなどの半導体デバイスを製造する工程で、半導体ウェハ上への成膜工程やウェハ上の薄膜の研磨工程等の除去工程でその工程終了点を検知する測定装置、及び測定方法、及び研磨装置、及び半導体デバイス製造方法、測定方法プログラムを記録した記録媒体に関する。

#### 【0002】

##### 【従来の技術】

半導体デバイスの高密度化は限界を見せず進展を続けており、高密度実現のため、種々な技術、方法の開発が進められている。その一つが、多層配線であり、これに伴う技術的課題に、半導体ウェハ上のグローバルな（比較的大きなエリアでの）デバイス面の平坦化および、上下層間の配線がある。

#### 【0003】

リソグラフィ工程の露光波長の短波長化、更には高NA (numerical aperture) に伴う露光時の焦点深度短縮を考慮すると、少なくとも露光エリア程度の範囲での層間層の平坦化の精度要求は大きい。また、多層配線実現のために金属電極層の埋め込みであるいわゆる象嵌（プラグ、ダマシン）の要求も大きく、この場合、金属層の積層後の余分な金属層の除去及び平坦化を行わなければならない。これらの、大きなエリアでの効率的な平坦化技術として注目を集めているのが、CMPと呼ばれる研磨工程である。CMP (Chemical Mechanical Polishing またはPlanarization) は、物理的研磨作用と化学的な研磨作用（研磨剤の溶液による溶かし出し）とを併用して、ウェハの表面層を除いていく工程で、グローバル平坦化および、電極形成技術の最有力な候補となっている。具体的には、酸、アルカリなどの被研磨物の可溶性溶媒中に、研磨粒（シリカ、アルミナ、酸化セリウムなどが一般的）を分散させたスラリーと呼ばれる研磨剤を用い、適当な研磨パッドで、ウェハ表面を加圧し、相対運動により摩擦することにより研磨を進行させる。ウェハ全面において、加圧と相対運動速度を一樣とすることで面内に一樣な研磨が可能になる。

#### 【0004】

図12は、従来のCMP研磨装置の概略図である。研磨ヘッド1に装着されたウェハ2が、角速度 $\omega_H$ で自転しながら研磨パッド3に押しつけられる。研磨パ

ッドを固定した定盤4は、角速度 $\omega_T$ で回転する。ウェハ2と研磨パッド3との間には研磨剤供給機構16から研磨剤（スラリー）17が供給され、スラリー17と研磨パッド3との化学的作用と物理的作用により、ウェハ2の被研磨面が研磨される。ウェハ2面内の任意の点の研磨速度 $v$ は、定盤4の中心から研磨ヘッド1の中心までの距離を $r_C$ 、研磨ヘッド1の中心から研磨点までの距離を $r_H$ とすると  $v = r_C \cdot \omega_T - r_H \cdot (\omega_H - \omega_T)$  で表されるため、 $\omega_H = \omega_T$  のとき、ウェハ2内の位置に関わらず研磨速度が一定になる。

## 【0005】

この工程の要求課題の大きなものとして、研磨工程の終了点の検知がある。ことに、研磨工程を行いながらの（in-situ の）研磨終了点の検出は、工程効率化のためにも要請が大きい。

## 【0006】

この検出方法としては、一般的な膜厚計測装置を研磨工程の終了点検出に用いることが多い。工程後洗浄されたウェハの、微小なブランク部分（デバイスパターンの無い場所）を測定場所として選択して種々の方式で検出及び計測を行っている。

## 【0007】

研磨平坦化工程において、より速いモニタ方法としては、目的研磨層と異なった層へ研磨が進んだときの摩擦変動を、ウェハ回転やパッドの回転のモータトルクの変化によって検出する方法がある。

## 【0008】

他には、レーザ光をウェハ面に照射し、光学干渉を利用して反射光強度の時間変動を追跡し膜厚計測を行う方法がある。強度の時間変化を追跡し、所定値になる時を以て終了点と判定する方法が多いが、ウェハのデバイスパターンに依存した不確定性と測定位置による誤差、信号雑音の影響などのため、工程終了点を明確に判断することが困難であることが指摘されている。

## 【0009】

## 【発明が解決しようとする課題】

以上のようなCMP工程での終点検出の方法には各種あるが、今だ決定的とい

える方法が見つかっていない。

【0010】

たとえば膜厚計測機での計測は、十分な精度が得られ、信頼性のあるデータは得られるものの、装置そのものが大がかりなものになり、計測に時間もかかり、工程へのフィードバックが遅くなる。

【0011】

また、モータートルクで工程終了点を検出する方式は、簡便で高速ではあるが、層が明らかに異種に変わったときを工程終了点として検知する場合にのみ有効で、しかも精度の上で不十分である。

【0012】

更にまた、レーザ光をウェハ面に照射する方法は、ウェハのデバイスパターン種に依存した不確定性と測定位置の誤差、更にはスラリー等に起因する信号雑音の影響、以上を総合して信号の擾乱のため、工程終了点を明確に判断することが困難であることが指摘されている。

【0013】

本発明は、以上の問題を解決し、信号に擾乱があっても、且つ研磨層が明確に異なる種類に変化しない場合でも、研磨と同時 (i n s i t u) 測定が可能な研磨終了点の測定装置、及び測定方法、及び研磨装置、及び半導体デバイス製造方法及び測定方法を記録した記録媒体を提供する。

【0014】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するために、本発明は第一に、基板への絶縁膜もしくは金属電極膜の成膜工程、または前記膜の除去工程における工程終了点を、前記基板面に光を照射し、その反射信号光または透過信号光の片方または両方を検出して得られる信号波形から測定する測定装置であり、前記信号波形から二つ以上の特徴量を抽出する特徴量抽出部と、前記二つ以上の特徴量を用い論理演算を行い工程終了点を判定する論理演算部と、を具えることを特徴とする測定装置を提供する。

【0015】

本手段に於ける測定装置が行う測定は主として工程終了点の検知である。

## 【0016】

第二に、前記信号波形が、分光波形であり、且つ前記特徴量が、前記信号波形中の極大値と、最大極大値と、極小値と、最小極小値と、極大値／極小値と、最大極大値／最小極小値と、隣接する極大値・極小値対に対する $|極大値 - 極小値|$ と、複数の前記極大値・極小値対に対する各 $|極大値 - 極小値|$ の加算値と、前記信号波形の積分値と、前記各特徴量の1回及び2回の時間微分係数の群と、前記時間微分係数の正負の符号の群と、から成る特徴量群から選ばれることを特徴とする請求項1記載の測定装置を提供する。

## 【0017】

第三に、前記論理演算部が、ファジイ推論を使用して判定することを特徴とする請求項1～2何れか1項記載の測定装置を提供する。

## 【0018】

第四に、前記ファジイ推論に於いて使用するメンバーシップ関数を、前記特徴量から演算した値により測定中にチューニングすることを特徴とする請求項3記載の測定装置を提供する。

## 【0019】

第五に、基板への絶縁膜もしくは金属電極膜の成膜工程、または前記膜の除去工程における工程終了点を、前記基板面に光を照射し、その反射信号光または透過信号光の片方または両方を検出して得られる信号波形から抽出される特徴量の変化から測定する測定装置であり、前記信号波形から特徴量を抽出する特徴量抽出部を具え、且つ前記信号波形が、分光波形であり、尚且つ前記特徴量が、前記信号波形中の隣接する極大値・極小値対に対する $|極大値 - 極小値|$ 、または複数の前記極大値・極小値対に対する各 $|極大値 - 極小値|$ の加算値、または前記信号波形の積分値であることを特徴とする測定装置を提供する。

## 【0020】

第六に、前記特徴量を前記信号波形を規格化した波形から抽出することを特徴とする請求項1～5何れか1項記載の測定装置を提供する。

## 【0021】

第七に、基板への絶縁膜もしくは金属電極膜の成膜工程、または前記膜の除去



工程における工程終了点を、前記基板面に光を照射し、その反射信号光または透過信号光の片方または両方を検出して得られる信号波形から測定する測定方法であり、前記信号波形から二つ以上の特徴量を抽出する段階と、前記二つ以上の特徴量を用い論理演算して判定を行う段階と、を具えることを特徴とする測定方法を提供する。

## 【 0 0 2 2 】

第八に、基板への絶縁膜もしくは金属電極膜の成膜工程、または前記膜の除去工程における工程終了点を、前記基板面に光を照射し、その反射信号光または透過信号光の片方または両方を検出して得られた信号波形から抽出される特徴量の変化により測定する測定方法であり、前記信号波形が、分光波形であり、且つ前記特徴量が、前記信号波形中の隣接する極大値・極小値対に対する $| \text{極大値} - \text{極小値} |$ 、または複数の前記極大値・極小値対に対する各 $| \text{極大値} - \text{極小値} |$ の加算値、または前記信号波形の積分値であることを特徴とする測定方法を提供する。

## 【 0 0 2 3 】

第九に、基板を保持する保持部と、研磨体と、請求項 1 ～ 6 何れか 1 項記載の測定装置と、を具え、前記基板と前記研磨体との間に研磨剤を介在させた状態で、前記基板と前記研磨体との間に荷重を加え、双方の間に相対運動を与えることにより基板を研磨する際に、工程終了点の測定が可能ないようにされたことを特徴とする研磨装置を提供する。

## 【 0 0 2 4 】

第十に、請求項 9 記載の研磨装置を用いて半導体ウェハの表面を研磨する段階を具えることを特徴とする半導体デバイス製造方法を提供する。

## 【 0 0 2 5 】

第十一に、コンピュータを「請求項 1 ～ 6 の何れか 1 項記載の特徴量抽出部及び論理演算部、または特徴量抽出部」として機能させるための信号処理プログラムを記録した機械読み取り可能な記録媒体を提供する。

## 【 0 0 2 6 】

## 【発明の実施の形態】

本発明では、工程終了点の検知のためにウェハ上の薄膜の光学的計測を行うことを試みた。

## 【 0 0 2 7 】

薄膜の膜厚計測を光学的に行なう方法は種々知られており、干渉現象を用いる方式においても、かなりの精度が実現されている。しかし、いずれも（多層膜含む）ブランク膜計測についてのものである。本発明が対象とするのは、ブランク膜だけでなく、デバイスパターン（下地パターン）が形成された基板（ウェハ）であって、ブランク膜のように二次元的に一様でない部分が対象となる。この場合、ブランク膜から単純に予測される信号は得られない。

## 【 0 0 2 8 】

そこで、本発明は測定のために、多波長成分の光源を用い、多波長成分の光をウェハに照射し、反射光の波長依存性即ち分光特性を分析することにより測定を行う。多波長成分の光源としては好ましくは、白色光源を用いる。白色光源を用いた場合、照射は白色光をそのまま照射しても、これを分光した成分を経時的に照射してもどちらでも良い。また、この白色光源としては、通常の連続的に比較的広いスペクトル光を発する光源でなくて、比較的半値幅の狭い複数のスペクトルの光を発光する光源であっても、更にまた、赤外光源であっても、紫外光源であっても用いることができる。

## 【 0 0 2 9 】

照射方式には、ここではウェハの被研磨面側から照射する方式を説明するが、これに限らず、赤外域での多波長成分光源を用いることにより、ウェハ裏面（被研磨面と対向する面）からの照射を行う方式（この場合、反射光を検出する場合と、透過光を検出する場合とがある）を取ることも可能である。

## 【 0 0 3 0 】

また、照射光のスポット径は、パターンの最小単位に比較して大きくすることが好ましい。こうした場合、分光特性の波形は、複雑な干渉効果のため、ブランク膜とは大きく異なったものとなる。ここでパターンの最小単位とは、例えば図 1 4 の平面図で概略を示したパターンに対して一次元方向について示すように、周期構造を有するパターンの最小繰り返し単位のことである。

【 0 0 3 1 】

以下、本発明の実施形態を図面を参照しながら詳細に説明する。

【 0 0 3 2 】

図 1 は、本発明を説明するための CMP 研磨装置の概略図である。研磨パッド 3 と定盤 4 に透光窓 5 を設け、ウェハの被研磨面への照射光と反射信号光とを通過可能とした以外は、図 1 2 の従来の CMP 研磨装置と同じであるので、研磨自体の動作説明は冗長を避けるために省略する。

【 0 0 3 3 】

図 1 の研磨装置は、図 1 2 の研磨装置で説明したような動作でウェハ 2 の被研磨面を研磨する。本発明では研磨の際に研磨終了点測定装置 3 0 が研磨終了点を測定する。

【 0 0 3 4 】

図 1 の 3 0 で示された研磨終了点測定装置は、白色光源 9、レンズ 1 1 ～ 1 3、ビームスプリッタ 1 0、受光部 6、信号処理部 8 を具える。ここで、白色光源としては、キセノンランプ、ハロゲンランプ、タングステンランプ、白色 LED、等を用いることができる。ビームスプリッタ 1 0 としては光学薄膜タイプの振幅分割型が好ましく、また、窓材が一般的に有する複屈折性が測定に及ぼす悪影響を軽減するために無偏光タイプが好ましい。更に、信号処理部 8 としては、好ましくはコンピュータが用いられる。

【 0 0 3 5 】

白色光源から発する照射光は、レンズ 1 1 を透過し、ビームスプリッタ 1 0 を透過し、レンズ 1 2 を透過して透光窓 5 を通過してウェハ 2 の被研磨面に照射される。透光窓 5 には好ましくは透明窓材 1 5 が嵌め込まれており、材料としてはポリカーボネート、アクリル、等が用いられる。ウェハ 2 からの反射信号光は、レンズ 1 2 を再び透過し、ビームスプリッタ 1 0 を反射し、レンズ 1 3 を透過し、受光部 6 で受光される。受光部 6 は反射信号光に応じた光信号を信号処理部 8 に送る。この信号処理部 8 は特徴量抽出部と論理演算部を具える。

【 0 0 3 6 】

ここで信号処理部にコンピュータを用いた場合の信号処理部の構成を図 5 に示

す。

#### 【 0 0 3 7 】

図 5 にて、コンピュータ 3 0 の内部には、CPU（中央処理装置）3 1 が設けられ、CPU 3 1 には、キーボードやマウスからなる入力装置 3 4、ハードディスク 3 6、メモリ 3 7、インターフェースボード 3 3、及びインターフェースボード 3 2 が接続される。更に必要に応じて CPU 3 1 には、モニタ装置が接続される。

#### 【 0 0 3 8 】

また、CPU 3 1 には、CD-ROM ドライブ装置 3 5 が接続され、この CD-ROM ドライブ装置 3 5 に、信号処理プログラム、およびそのインストールプログラムを記録した CD-ROM 3 8 が挿入されると、CPU 3 1 は、このインストールプログラムにより、信号処理プログラムを展開し、ハードディスク 3 6 に実行可能な状態で格納する。プログラムを記録した媒体がフロッピーディスクのときは、CD-ROM ドライブ装置 3 5 の代わりにフロッピーディスクドライブ装置を用いる。

#### 【 0 0 3 9 】

信号処理部にコンピュータを用いた場合、特徴量抽出部は、図 1 6 の S 2、及び図 1 7 の S 3 2、及び図 1 8 の S 4 2 にて、CPU 3 1 が「特徴量を抽出する機能」に対応し、論理演算部は、図 1 6 では、CPU 3 1 が「メンバーシップ関数のチューニングを行い（S 3）、各特徴量の合致度を計算し（S 4）、各々のファジイルールの結果を計算し（S 5）、ファジイ推論の最終結果を計算し（S 6）、デファジフィケーションを行い（S 7）、デファジフィケーションの値が設定値に達したかどうかを判断する（S 8）機能」に対応する。また、論理演算部は、図 1 7 では、CPU 3 1 が「論理演算アルゴリズムに基づいて論理演算し（S 3 3）、論理演算結果が工程終了点条件を充たすかどうかを判断する（S 3 4）機能」に対応する。

#### 【 0 0 4 0 】

図 2 は、光信号の波形の一例を示す。この光信号は分光信号であり、横軸は、分光器（図示せず）のチャンネル（図 2 では 1 1 7 c h 分、波長 4 2 0 n m ～ 8

0 0 n mに相当する)を示し、縦軸は反射率を示す。この分光信号を得るためには、反射信号光を分光した光を受光するか、白色光を分光した光を照射光とする必要があるが、分光器は図 1 には図示されていない。図 1 を参照すれば分かるように、定盤 4 は、回転しているので、透光窓 5 もまたウェハ 2 や照射光軸に対して回転し、透光窓 5 が照射光の位置に回転してくる度毎(通常は定盤 4 が 1 回転する間に 1 回)に図 2 のような信号波形が得られる。本発明は、この信号波形に基づいて工程終了点を判定する。

#### 【 0 0 4 1 】

図 2 を見てわかる通り、信号波形には多くのノイズ要素が含まれている。そのため前処理として、信号波形のスミージング処理を行う。図 3 にスミージング処理を行った後の信号波形を 1 6 例示している。この 1 6 例は、各々、ある種類のデバイスのパターンを有するウェハを研磨したときに、定盤 4 が 1 回転する度毎に連続して取得した信号波形であり、横軸は波長、縦軸は反射率に対応する。各信号波形のグラフの中央上部に信号波形取得番号(以後信号番号と呼ぶ)を表示してある。したがって、図 3 には連続した信号番号の 3 2 番目(左上)から 4 7 番目(右下)が示されている。この例の場合の研磨終了点は、信号番号が 4 5 番目の時点である。この 4 5 番目の信号をその前後の 4 4 番目の信号、4 6 番目の信号と較べてみると分かるように、これらの信号の間には明確な差異は見つけれない。図 3 は特に、研磨終了点がわかりにくいデバイスウェハを選んだ訳でなく、一般的に信号変化は、研磨終了点前後で明確な変化を示さず、その変化は極めて微妙であり、曖昧性が強いことが経験的に分かっている。

#### 【 0 0 4 2 】

このように、極めて曖昧で且つ微妙な信号変化を適切に捉えるために、本発明では先ず第一に信号波形から適当な特徴量を抽出し、この特徴量の変化に基づいて研磨終了点を検知する。更には、これら特徴量を複数組み合わせた論理演算により研磨終了点を検知する。

#### 【 0 0 4 3 】

図 4 には、この特徴量を説明するための信号波形が二つ示されている。これら信号波形は分光波形であり、下の曲線は図 3 の信号番号 3 3 に対応する。ここで

は特徴量として極大値と極小値とを選んでおり、この信号波形上に、◇により極大値が、+により極小値が示されている。この極大値と極小値とは、信号波形に平滑化微分を行うことにより演算（抽出）することができる。これら極大値と極小値の位置（波長、反射率）が特徴量となるが、本実施例では反射率を用いた。これら特徴量の抽出に当たっては、信号波形の大きさは、好ましくは規格化される。この規格化は、照射光源強度の変動や、レンズ等から成る光学系の透過率の変動や、受光部の受光感度の変動や、スラリーの変動等の、ウェハの研磨状態の変化とは無関係に変動する外乱成分が信号に与える影響を軽減するために行う。規格化の方法としては、信号波形中に基準点を指定し、この基準点の大きさを基準値とするように信号波形の大きさを補正する。基準点としては、信号波形が分光波形の場合、所定のスペクトル範囲中の所定の波長に於ける反射率、または所定のスペクトル範囲中の反射率の最大極大値、または所定のスペクトル範囲中の最大反射率の群から選ばれた一つを選ぶことが好ましいが、これらに限定されるものではない。図4の例では、信号波形の最大極大値を所定の基準値（この場合は1）にする規格化が行われた。具体的には、波形の規格化は、信号波形を複数の極大値のうち最大の極大値で割り算することにより行うことができる。図4の上の曲線が、規格化した信号波形を示す。この信号波形の規格化は、特徴量として極大値や極小値を抽出するときのみならず、他のあらゆる特徴量を抽出する際に好ましく行われ、そのために、特徴量の抽出の演算はすべてこの規格化波形を対象にして行われることが好ましい。

#### 【 0 0 4 4 】

更に特徴量の抽出に際して、規格化を行った後に、規格化された基準点を中心に信号波形を回転することが好ましい。これを行う理由は信号波形からスラリーの影響を除去するためである。反射信号光はスラリーを透過して来るので、取得された信号波形にはスラリーにより散乱等の影響を受け変動した成分が含まれている。この変動量は、スラリー濃度に比例し、且つ波長依存性を受ける。変動量は、一般に短波長側ほど大きいので、スラリー濃度が高い程、信号波形は右上がり傾向を強める。この様子を図15に示す。この信号波形の図15（b）や図15（c）の状態の後出の特徴量  $\Sigma$  や  $\Sigma P B$  を抽出すると、その値は

、スラリーが無いときの図 1 5 ( a ) のときのものとは異なり、しかもスラリー濃度依存性を受ける。つまり、特徴量の大きさが、膜厚などウェハ本来の情報以外にスラリー濃度により左右されてしまい、工程終了点の測定精度を低下させてしまうのである。そこで、信号波形を補正し、信号波形を図 1 5 ( a ) の状態に戻す。補正方法としては、図 1 5 ( b ) や図 1 5 ( c ) の信号波形の規格化された基準点（右上の各×印の点）の回りに信号を傾きを減らす方向に回転するのである。このとき傾きは、信号波形を一次曲線で近似し、その勾配から判断する。信号波形の補正の方法としては、この回転による方法以外に、別途ブランクミラー等で測定したスラリーの特性を参照値として、信号波形をスラリーの特性で除算する方法がある。勿論この第二の方法の場合には、この除算の後に規格化が行われる。

## 【 0 0 4 5 】

他の特徴量としては、信号波形中の最大極大値、または最小極小値、または極大値／極小値、または最大極大値／最小極小値、または隣接する極大値・極小値対に対する  $|\text{極大値} - \text{極小値}|$ 、または複数の前記極大値・極小値対に対する各  $|\text{極大値} - \text{極小値}|$  の加算値即ち  $\Sigma |\text{極大値} - \text{極小値}|$ 、または信号波形の積分値、または前記各特徴量の 1 回微分係数、または前記各特徴量の 2 回微分係数を用いることができる。

## 【 0 0 4 6 】

ここで、特に、前記複数の前記極大値・極小値対に対する各  $|\text{極大値} - \text{極小値}|$  の加算値で得られる特徴量は、極大値と極小値の差 ( S u m O F P e a k t o B o t t o m ) の意味で簡略的に、S u m P B と呼ぶ。図 4 に於いて、S u m P B は、規格化波形の隣り合う◇と＋に対応する山と谷との標高差の合計であり、 $((\diamond 1) - (+1)) + ((\diamond 2) - (+2)) + ((\diamond 3) - (+3))$  により求められる。

## 【 0 0 4 7 】

更に、前記信号波形の積分値を簡略的に S i g m a と呼ぶ。図 4 に於いて、S i g m a は、規格化波形と波長軸と縦軸（反射率軸）で囲まれた面積となる。

## 【 0 0 4 8 】

さらに、Sigmaの時間微分、または、Sigmaの時間微分を特徴量として用いる場合、これを図3の場合に当てはめると、Sigmaの時間微分は、各信号番号に於ける規格化信号（図3は原信号のみが表示されている）に対するSigmaの傾き、即ち隣接する信号番号間（例えば44と45間）でのSigmaの差である。Sigmaの時間微分は、各信号番号に於ける規格化信号に対するSigmaの傾き、即ち隣接する信号番号間（例えば44と45間）でのSigmaの差である。

## 【0049】

ところで、半導体デバイスウェハの、パターン面からの反射光は、パターンを構成するデバイス（積層薄膜）の各層、各部分からの光波の重ね合わせと考えることができ、この重ね合わされた結果の反射信号光の分光波形は、複雑な干渉効果のため、（例え最上層の膜厚が同じであっても）ブランク膜とは大きく異なったものになる。図13は、この干渉の概念を説明する説明図である。図13は、一つのデバイスウェハの断面を示す。図13にて、18は金属電極層、19は誘電体層、21は下層部分、20は照射光スポット、そして100、200、300、a、bは、各々、デバイスの（積層薄膜）の各層、各部分からの反射光波を示し、これらの光波が相互に複雑な干渉をした結果が反射信号光になるのである。

## 【0050】

このような反射信号光から得られた信号波形から、測定対象の膜厚を直接に計算し、研磨状態の判定を行うことは、一般的には容易ではない。更に、分光波形の解析の困難性の他に、分光波形に不安定性を与える擾乱の問題がある。

## 【0051】

これらの擾乱の主要な第一は、スラリーである。図1の場合には、透光窓5にある窓板15の上面に付着したスラリーである。照射光と反射信号光が透過するスラリー層厚は、研磨中に不規則に変動したり、スラリー成分が不規則に変動するので、このスラリーは、信号波形に予測困難なノイズを与える。

## 【0052】

その第二は、図1により分かるように、定盤4の回転により透光窓が照射光を



横切り、測定する度毎に、照射光スポットが、前の照射位置とは異なる位置を照射し測定することにより生じる擾乱である。この擾乱は、一般的に避けられない、残膜厚のウェハ上に於ける不均一性のためや、異なる位置の異なるパターン種を測定するために、予測困難なノイズを与える。

#### 〔実施形態 1〕

以上のように、ここで取り扱うのは、解析が困難であり、且つ擾乱の影響を受けた信号である。そのために、本発明では、研磨状態を捉え得る特徴量を信号波形から複数抽出し、これらの特徴量をファジイ推論を用いて論理演算することを試みた。

#### 【 0 0 5 3 】

本実施形態のファジイ推論においては、以下のような特徴量を用いたが、他の特徴量群も用いることができ、これらは、ウェハの種類等に応じて実験または理論的検討に基づいて選定される。

#### 【 0 0 5 4 】

例えば、①  $\text{SumPB}$ 、②  $\text{Sigma}$ 、③  $\text{SumPB}$  の 1 回微分係数、④  $\text{Sigma}$  の 1 回微分係数、⑤  $\text{SumPB}$  の 2 回微分係数、⑥  $\text{Sigma}$  の 2 回微分係数の 6 個の特徴量である。

#### 【 0 0 5 5 】

ファジイルールとしては、例えば以下のような二つのルールを用いることが出来る。これらのルールはファジイルールに於ける「また」で結びつけられる。

ルール 1 : ① が大きい、且つ ② が小さい、且つ ③ が小さい、且つ ④ が小さい、且つ ⑤ が負であり、且つ ⑥ が正ならば、終点は近い。

また、

ルール 2 : ① が小さいか、または ② が大きい、または ③ が大きい、または ④ が大きい、または ⑤ が正か、または ⑥ が負ならば、終点は遠い。

#### 【 0 0 5 6 】

ここで、ルール 1、2 の各「大きい」「小さい」はそれぞれメンバーシップ関数に基づいたものである。図 6 の上図に  $\text{SumPB}$  の、そして下図に  $\text{Sigma}$  のメンバーシップ関数を、図 7 に上記ファジイルールのメンバーシップ関数表現

を示す。

【0057】

ここでメンバーシップ関数は、ファジイルールで、「大きい」「小さい」という曖昧な言葉の、大きいという事実、または小さいという事実に対する合致の度合い（合致度）を示す関数である。尚、ここでのファジイ推論は菅野方式（Sugeno, M., Industrial applications of fuzzy control, Elsevier Science Pub. Co., 1985）を使用している。このメンバーシップ関数は、各特徴量毎に事前に予備実験や計算結果等に基づいて決定される。

【0058】

図6の上図に於いて、横軸はSumPBの値、縦軸はマッチングの度合い（合致度）を示す。SumPBの値が1.6以上のときに、「大きい」のメンバーシップ関数が1であり、「小さい」のメンバーシップ関数が0であることは、SumPBの値が1.6以上のときに、SumPBの値と「大きい」との合致度は1であり、「小さい」との合致度は0であることを示す。また、SumPBの値が0.8以下のときに、「小さい」のメンバーシップ関数が1であり、「大きい」のメンバーシップ関数が0であることは、SumPBの値が0.8以下のときに、SumPBの値の「小さい」との合致度は1であり、「大きい」との合致度は0であることを示す。更に、SumPBの値が0.8を超え1.6未満のときに、「大きい」との合致度も「小さい」との合致度も両方ともに0以上1以下の値を取り、SumPBのこの領域が、「大きい」とも「小さい」ともつかない領域である。

【0059】

図6の下図に於いてSigmaのルール1の「小さい」とルール2の「大きい」との各々のメンバーシップ関数を示すが、この意味はSumPBの場合と同様に解釈すれば良い。

【0060】

次に、図7において、(1)、(2)、(3)、(4)、(5)、及び(6)は、各々前出のSumPB、Sigma、SumPBの1回微分係数（SumPB-Diff）、Sigmaの1回微分係数（Sigma-Diff）、SumPBの2回微分係数

(SumPB-Diff2)、及びSigmaの2回微分係数(Sigma-Diff2)に対するメンバーシップ関数である。上下2列の内、上列は、ルール1に対するものであり、下列は、ルール2に対するものである。ここで、(1)及び(2)は、図6で示したメンバーシップ関数をルール1とルール2に分けて、且つ縮小して表示したものである。(3)、(4)、(5)、及び(6)の各メンバーシップ関数にて、各横軸は各特徴量の値であり、縦軸はルール1、ルール2の各々に対する合致度(0~1)である。また、各メンバーシップ関数の各縦軸に平行な各直線は、ある信号番号に対する①、②、③、④、⑤、及び⑥の各特徴量の入力値であり、各々2.50、75、0.12、2.50、-1.00、及び1.00である。これら各直線と各メンバーシップ関数との各交点が、各々の特徴量の合致度である。

## 【0061】

ルール1に対する(1)、(2)、(3)、(4)、(5)、及び(6)の合致度は、各々1、1、0.60、0.75、1、及び1であり、ルール1はこれらの論理積を取る。本実施形態では論理積として代数積を取るので、ルール1の結果は、 $1 \times 1 \times 0.60 \times 0.75 \times 1 \times 1 = 0.45$ となる。このルール1の結果は、図7(a)に、研磨終了点を1にしたときのこの1に対する合致度が0.45として示されており、これはルール1の結果のメンバーシップ関数である。

## 【0062】

また、ルール2に対する(1)、(2)、(3)、(4)、(5)、及び(6)の合致度は、各々0、0、0.4、0.25、0、及び0であり、ルール2はこれらの論理和を取る。論理和としては、代数和を用い、ルール2の結果は、 $0 + 0 + 0.4 + 0.25 + 0 + 0 - (0.4 \times 0.25) = 0.55$ となる。このルール2の結果は、図7(b)に、研磨の完全未終了点を0にしたときの、この0に対する合致度が0.55として示されており、これはルール2の結果のメンバーシップ関数である。次に、図7(c)に、これらルール1の結果とルール2の結果を一緒に表現すると、これがルール1の結果とルール2の結果を「また」で結び付けたものである。これはファジイ推論で得られた最終結果であり、やはりメンバーシップ関数である。

## 【0063】

次に、この図7(c)のメンバーシップ関数からエッセンスを抽出するためにデファジフィケーションを行うことが好ましい。このデファジフィケーションの方法としては、好ましくは最終結果のメンバーシップ関数の重心が求められるが、この方法に限らない。重心により求める場合は、下式により、

$$\text{重心} = \frac{1 \times 0.45 + 0 \times 0.55}{0.45 + 0.55} = 0.45$$

0.45となり、この値が、この研磨時点(信号番号)に於ける終点評価値として用いられる。

## 【0064】

このファジイ推論では研磨終了点の近さ、即ち終点評価値が0から1までの範囲の値で示され、1に達したときが研磨終了点と判断される。図8に終点評価値の変化の様子を示す。図8に於いて、横軸は信号番号、縦軸は終点評価値(0~1)であり、信号番号が33のときに終点評価値が1となるので、ここを研磨終了点として判断し、研磨終了点信号を出力することができる。

## 【0065】

次に、上記のファジイ推論を行うための基になる、信号波形から抽出された特徴量の変化について詳しく述べる。図9は、SumPBの変化の実施例であり、横軸は信号番号であり、研磨回数に対応する。点線がSumPBの値であり、実線はSumPBの移動平均の値である。図10にSigmaの変化の実施例を示す。点線、実線、横軸の意味は図9と同様である。SumPB、Sigmaともファジイルールへの入力は移動平均の値を使用する。

## 【0066】

前述のファジイ推論のルール1、ルール2のうち、①SumPBにおける「大きい」「小さい」というルールは、信号波形の変化の大きさの程度を判定するルールであり、②Sigmaに於ける「大きい」「小さい」というルールは、信号波形の全体の大きさの程度を判定するルールであるので、この部分は特徴量判定の定量的ルールであるといえる。また、③SumPBの1回微分係数、④Sig

maの1回微分係数、⑤SumPBの2回微分係数、⑥Sigmaの2回微分係数は、図9、図10のSumPB、Sigmaの曲線で極大、極小を見つけるためのルールであり、曲線の形状を把握するための定性的ルールといえる。

【0067】

定量的な部分①及び②については、ウエハの種類やスラリーの種類や状態により値の変動が大きいために、研磨の進行に伴うSumPBの値とSigmaの値の変化に応じて、測定中にメンバーシップ関数を横にずらすチューニングを行うことが好ましい。チューニングの基準値としては研磨開始時から測定時までの特徴量の平均値を使用することが好ましい。図9、図10のグラフ内の横軸に平行な各実線はその平均値を示している。このように、例えば、研磨中の各測定段階でSumPBの平均値を求めたら、この平均値に対して、SumPBのメンバーシップ関数の「大きい」との合致度も「小さい」との合致度も共に0.5になるように例えば図6の上図のメンバーシップ関数を横にずらすことによりチューニングを行う。Sigmaのメンバーシップ関数のチューニングも、SumPBの場合と同様に図6の下図のメンバーシップ関数を横にずらすことにより行う。

【0068】

このチューニングにより、SumPBやSigmaの値が、研磨剤の変動、等により変化した場合でも適切にメンバーシップ関数を選ぶことが出来る。

【0069】

以上のように、本発明では、信号波形から二つ以上の特徴量を抽出し、これらの特徴量に対してファジイ推論を用いて論理演算することにより、測定対象がデバイスパターンを有する基板であっても、またはスラリーや測定位置の変動による擾乱があっても、高精度に、且つ研磨と同時に研磨終了点を検知することが出来る。

【0070】

以上の説明の中の信号処理装置の信号処理動作をコンピュータで行う場合、その動作を図16に示す。以下、ステップ番号を参照しながら信号処理装置の動作説明をする。

【0071】

先ず、信号処理装置がONすると、図5のCPU31は、光信号を取得する（S1）。この光信号は、サンプリング周期の間隔毎に取得される。

【0072】

次に、CPU31は、光信号から特徴量を抽出する（S2）。この特徴量の抽出に先立って、特徴量が選択されている（S10）。この選択は、ウェハの種類等に対応させて、手入力で行っても、自動選択しても良い。

【0073】

次に、CPU31は、メンバーシップ関数のチューニングを行う（S3）。このS3に先立って、メンバーシップ関数が決められている（S11）。この決定は、ウェハの種類等に対応させて、手入力で行っても、自動選択しても良い。

【0074】

次に、CPU31は、各特徴量の入力値に対して、各合致度を計算する（S4）。

【0075】

次に、CPU31は、ファジイルールの結果を計算する（S5）。

【0076】

このS5のステップに先立って、ファジイルールが決定されている（S12）。この決定方法は、ウェハ種等に応じて、手入力で行っても、自動的に決定しても良い。

【0077】

次に、CPU31は、各ファジイルールの結果を組み合わせるファジイ推論の最終結果を計算する（S6）。

【0078】

次に、CPU31は、ファジイ推論の最終結果をデファジフィケーションする（S7）。

【0079】

次に、CPU31は、デファジフィケーションの値が工程終了点として予め設定した値に達したかどうかを判断する（S8）。

【0080】

S 8 に先立って、工程終了点の値が設定されている (S 1 3)。この設定は、ウェハ種に応じて、手入力で行っても、自動的に決定しても良い。

【 0 0 8 1 】

C P U 3 1 は、S 8 で N O ならば、次にサンプリングされて取得された光信号に対する処理を行う。

【 0 0 8 2 】

C P U 3 1 は、S 8 で Y E S ならば、工程終了点信号を出力する (S 9)。

【 0 0 8 3 】

本実施形態では、抽出された特徴量を用いてファジイ推論によって、研磨終了点を検知するので、信号に擾乱があっても、パターンが形成されたウェハであっても、工程終了点の高精度且つ安定的な検知、または同時検知の片方または両方ができる。

〔実施形態 2〕

実施形態 1 の測定では、二つ以上の特徴量の論理演算をする際にファジイ推論を用いて研磨終了点の検出をしたが、信号波形の擾乱が少ない場合等に於いて、ファジイ推論を用いなくても必要な精度が得られる場合、または、ファジイ推論を用いると論理演算が複雑になるためにコストアップになることがある。これらの場合は、ファジイ推論を用いない。例えば以上説明したファジイ推論でのファジイルール 1 の替わりに、S u m P B が閾値  $S_1$  より大きく、且つ S i g m a が閾値  $S_2$  よりも小さく、且つ S u m P B の 1 回微分係数が閾値  $S_3$  よりも小さく、且つ S i g m a の 1 回微分係数が閾値  $S_4$  よりも小さく、且つ S u m P B の 2 回微分係数が負の値であり、且つ S i g m a の 2 回微分係数が正の値ならば研磨終了点であるというように、これら各特徴量が上記各条件を全て満足したら研磨終了点とするという式を論理演算のアルゴリズムとすることが出来る。ここで  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$  は、ウェハ毎に定まる定数値である。

【 0 0 8 4 】

以上の説明の中の信号処理装置の信号処理動作をコンピュータで行う場合、その動作を図 1 7 に示す。以下、ステップ番号を参照しながら信号処理装置の動作説明をする。

【 0 0 8 5 】

先ず、信号処理装置がONすると、CPU 3 1 は、光信号を取得する（S 3 1）。この光信号は、サンプリング周期の間隔毎に取得される。

【 0 0 8 6 】

次に、CPU 3 1 は、光信号から特徴量を抽出する（S 3 2）。この特徴量の抽出に先立って、特徴量が選択されている（S 3 6）。この選択は、ウェハの種類等に対応させて、手入力で行っても、自動選択しても良い。

【 0 0 8 7 】

次に、CPU 3 1 は、論理演算を行う（S 3 3）。

【 0 0 8 8 】

このS 3 3に先立って、論理演算のアルゴリズムが決められている（S 3 7）。この決定は、ウェハの種類等に対応させて、手入力で行っても、自動選択にしても良い。

【 0 0 8 9 】

次に、CPU 3 1 は、論理演算の結果が工程終了点条件を充たすかどうかを判断する（S 3 4）。

【 0 0 9 0 】

CPU 3 1 は、S 3 4でNOならば、次にサンプリングされて取得された光信号に対する処理を行う。

【 0 0 9 1 】

CPU 3 1 は、S 3 4でYESならば、工程終了点信号を出力する（S 3 5）。

【 0 0 9 2 】

本実施形態では、抽出された特徴量を用いて論理演算によって、研磨終了点を検知するので、信号に擾乱があっても、パターンが形成されたウェハであっても、実施形態 1 の場合には及ばないが、工程終了点の高精度且つ安定的な検知、または同時検知の片方または両方ができる。

〔実施形態 3〕

以上の実施形態 1、2 の測定では、信号波形から二つ以上の特徴量を選んで、



これらの論理演算に基づいて研磨終了点を検知するが、ウェハの種類（デバイスパターンの種類）によっては、論理演算が却って好ましくない場合や、論理演算を行うことがコスト的に問題になる場合がある。この場合は特徴量を一つだけ選んでこれの変化によって検知する。選択される特徴量としては、信号波形（この場合分光波形）中の隣接する極大値・極小値対に対する $|\text{極大値} - \text{極小値}|$ 、または複数の前記極大値・極小値対に対する各 $|\text{極大値} - \text{極小値}|$ の加算値、または前記信号波形の積分値の何れかが好ましい。この場合、パターンを有するウェハの研磨に於いて、測定が簡略化する。

## 【 0 0 9 3 】

以上の説明の中の信号処理装置の信号処理動作をコンピュータで行う場合、その動作を図 1 8 に示す。以下、ステップ番号を参照しながら信号処理装置の動作説明をする。

## 【 0 0 9 4 】

先ず、信号処理装置が ON すると、CPU 3 1 は、光信号を取得する（S 4 1）。この光信号は、サンプリング周期の間隔毎に取得される。

## 【 0 0 9 5 】

次に、CPU 3 1 は、光信号から特徴量を抽出する（S 4 2）。この特徴量の抽出に先立って、特徴量が選択されている（S 4 5）。この選択は、ウェハの種類等に対応させて、手入力で行っても、自動選択しても良い。

## 【 0 0 9 6 】

次に、CPU 3 1 は、特徴量が設定値に達したかどうかを判定する（S 4 3）。

## 【 0 0 9 7 】

S 4 3 に先立って、工程終了点の値が設定されている（S 4 6）。この設定は、ウェハの種類等に対応させて、手入力で行っても、自動設定しても良い。

## 【 0 0 9 8 】

CPU 3 1 は、S 4 3 で NO ならば、次にサンプリングされて取得された光信号に対する処理を行う。

## 【 0 0 9 9 】

CPU31は、S43でYESならば、工程終了点信号を出力する（S44）

#### 【0100】

本測定方法で測定した実施例を図19に示す。図19は、TEG (Test Element Groove) パターンに対して特徴量としてSigmaとSumPBを選んだ場合の信号番号に対するSigma及びSumPBの各変化を示す。本実施例の場合、信号番号50の時点が研磨終了点に対応し、この時点でSigma及びSumPBは共に変化速度が急激に変化するので、このタイミングを捉えることにより研磨終了点を検知可能である。尚、この場合、特徴量（この場合はSigma及びSumPB）の1回または2回の微分を行うことにより研磨終了点の検知が一層容易になるので、信号の1回及び2回の微分等を併用することは好ましい。

#### 【0101】

本実施形態では、抽出された特徴量の変化によって研磨終了点を検知するので、論理演算のアルゴリズムを用いなくても、またファジイ推論を用いなくても良く、パターンが形成されたウェハであっても、工程終了点を簡便且つ高精度に検知、または同時検知の片方または両方ができる。更に、デバイスパターンの種類によっては論理演算する場合よりも更に高精度に検知できる。

#### 【0102】

以上実施形態1、2、3で説明した測定方法を用いた測定装置は、研磨装置、等に設けて工程状態の測定に用いられる。

#### 【実施形態4】

本実施形態は、本発明の研磨装置を用い半導体デバイスを製造する方法に関するものである。

#### 【0103】

図11は、半導体デバイス製造プロセスを示すフローチャートである。半導体デバイス製造プロセスをスタートして、まずステップS200で、次に挙げるステップS201～S204の中から適切な処理工程を選択する。選択に従って、ステップS201～S204のいずれかに進む。

## 【 0 1 0 4 】

ステップ S 2 0 1 はシリコンウェハの表面を酸化させる酸化工程である。ステップ S 2 0 2 は C V D、等によりシリコンウェハ表面に絶縁膜を形成する C V D 工程である。ステップ S 2 0 3 はシリコンウェハ上に電極膜を蒸着、等の工程で形成する電極膜形成工程である。ステップ S 2 0 4 はシリコンウェハにイオンを打ち込むイオン打ち込み工程である。

## 【 0 1 0 5 】

C V D 工程もしくは電極膜形成工程の後で、ステップ S 2 0 9 に進み、CMP 工程を行うかどうかを判断する。行わない場合はステップ S 2 0 6 に進むが、行う場合はステップ S 2 0 5 に進む。ステップ S 2 0 5 は CMP 工程であり、この工程では、本発明の研磨装置を用いて層間絶縁膜の平坦化や、半導体デバイスの表面の金属膜の研磨によるダマシン (damascene) の形成等が行われる。

## 【 0 1 0 6 】

CMP 工程または酸化工程の後でステップ S 2 0 6 に進む。ステップ S 2 0 6 はフォトリソ工程である。フォトリソ工程では、シリコンウェハへのレジストの塗布、露光装置を用いた露光によるシリコンウェハへの回路パターンの焼き付け、露光したシリコンウェハの現像が行われる。さらに次のステップ S 2 0 7 は、現像したレジスト像以外の部分をエッチングにより削り、その後レジスト剥離を行い、エッチングが済んで不要となったレジストを取り除くエッチング工程である。

## 【 0 1 0 7 】

次にステップ S 2 0 8 で必要な全工程が完了したかを判断し、完了していなければステップ S 2 0 0 に戻り、先のステップを繰り返して、シリコンウェハ上に回路パターンが形成される。ステップ S 2 0 8 で全工程が完了したと判断されればエンドとなる。

## 【 0 1 0 8 】

本発明に係る半導体デバイス製造方法では、CMP 工程において本発明に係る研磨装置を用いているため、CMP 工程での研磨終了点の検知精度が向上することにより、CMP 工程での歩留まりが向上する。これにより、従来の半導体デバ

イス製造方法に比べて低コストで半導体デバイスを製造することができるという効果がある。

【0109】

なお、図11に示した半導体デバイス製造プロセス以外の半導体デバイス製造プロセスのCMP工程にも本発明を用いることが出来る。

【0110】

本発明に係る半導体デバイスは、本発明に係る半導体デバイス製造方法により製造される。これにより、従来の半導体デバイス製造方法に比べて高品質且つ低コストで半導体デバイスを製造することができ、半導体デバイスの製造原価を低下することができるという効果がある。

【0111】

以上、実施形態1、2、3、4の発明を説明したが、実施形態1、2、3の各信号処理方法から選択された何れか二つ以上の測定方法を可能とする機能を一台の測定装置に盛り込んで、測定に当たっては何れか一つの機能を選択して用いるようにしても良い。このようにすることにより、ウェハの種類、研磨条件に最適な測定方法を選ぶことができる。

【0112】

尚、本発明は、図1のように透光窓を通して測定する場合のみならず、研磨ヘッドを回転に加えて揺動可能とし、ウェハを研磨パッドからはみ出させ、そのはみ出し部分に光を照射して測定する場合も含まれる。この場合は透光窓が不要である。さらに、研磨パッドがウェハよりも小さい研磨装置においては、ウェハが研磨パッドからはみ出して露出している部分に対して測定することもできる。

【0113】

また、本発明は、研磨終了点のみならず、他のイオンエッチング等の除去工程、更にはCVD、スパッタリング等の成膜工程の工程終了点の検知にも用いることが出来る。更にここで言う工程終了点は、例えば一般的な薄膜の除去工程に於ける工程の完了点のみならず、異なる材料層に除去工程が進行したタイミング等の中間工程の終了点も含む。

【0114】

図 1 の測定装置は光を半導体デバイスのパターン面側から照射しているが、光はウェハの裏面側から照射することも出来る。この場合、光源は赤外域での多波長成分光源が必要になる。

【 0 1 1 5 】

以上、本発明を図を用いて説明したが、本発明の範囲はこれらの図に示された範囲に限定されるものではなく、また、本発明は、以上の説明に限定されるものでもない。

【 0 1 1 6 】

【発明の効果】

〔請求項 1〕本発明では、信号波形から抽出した特徴量を論理演算するので、基板上にパターンがあっても、信号波形に多少の擾乱があっても、研磨層が明確に変化しない場合でも、工程終了点の高精度検知、または同時検知の片方または両方ができる。

〔請求項 2〕本発明では、薄膜の膜厚変化に対応して適切に変化する特徴量を選んでいるので、更に高精度に工程終了点の高精度検知、または同時検知の片方または両方ができる。

〔請求項 3〕本発明では、論理演算にファジイ推論を用いるので、信号波形に大きな擾乱があっても工程終了点の高精度検知、または同時検知の片方または両方ができる。

〔請求項 4〕本発明では、測定中にメンバーシップ関数をチューニングするので、抽出された特徴量の大きさに適したメンバーシップ関数を随時設定でき、工程終了点の高精度な検知、または同時検知の片方または両方ができる。

〔請求項 5〕本発明では、工程状態を極めて良く反映する特徴量の変化をモニタすることにより工程終了点を測定し、また論理演算しないので、工程終了点を簡便且つ高精度に検知、または同時検知の片方または両方ができる。更に、デバイスパターンの種類によっては最も適する。

〔請求項 6〕本発明では、抽出した特徴量の大きさを規格化するので、外乱があっても、工程終了点を簡便且つ高精度に検知、または同時検知の片方または両方ができる。

【請求項 7】本発明では、信号波形から抽出した特徴量を論理演算するので、基板上にパターンがあっても、信号波形に多少の擾乱があっても、研磨層が明確に変化しない場合でも、工程終了点の高精度検知、または同時検知の片方または両方ができる。

【請求項 8】本発明では、工程状態を極めて良く反映する特徴量の変化をモニタすることにより工程終了点を測定し、また論理演算しないので、工程終了点を簡便且つ高精度に検知、または同時検知の片方または両方ができる。更に、デバイスパターンの種類によっては最も適する。

【請求項 9】本発明では、請求項 1～6 何れか 1 項記載の測定装置を具えるので、デバイスパターンを有するウェハを高精度に、または歩留り良く研磨できる。

【請求項 10】本発明では、請求項 9 記載の研磨装置により半導体デバイスを研磨するので、半導体をデバイスを高品質に、または安価に製造できる。

【請求項 11】本発明では、コンピュータ上で、「請求項 1～6 の何れか 1 項記載の特徴量抽出部及び論理演算部」を実現することを可能とする。

#### 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の CMP 研磨装置の概略図

【図 2】信号波形（分光波形）の例

【図 3】信号波形（分光波形）の連続表示の例

【図 4】信号波形と規格化した信号波形と特徴量の関係を示した図

【図 5】コンピュータを使用した信号処理部の図

【図 6】SumPB、Sigma の各メンバーシップ関数の例

【図 7】ファジイールのメンバーシップ関数表現の例

【図 8】終点評価値の信号番号に対するグラフ

【図 9】SumPB の信号番号に対するグラフ

【図 10】Sigma の信号番号に対するグラフ

【図 11】半導体デバイス製造プロセスの例を示すフローチャート

【図 12】従来の CMP 研磨装置の概略図

【図 13】デバイスの各層、各部からの反射光波と照射光スポットとの関係

【図 14】パターンの最小単位の説明図

【図 1 5】 信号波形の回転の概要を示す図

【図 1 6】 ファジー推論による信号処理の実施形態のフロー

【図 1 7】 論理演算による信号処理の実施形態のフロー

【図 1 8】 特徴量の変化による信号処理の実施形態のフロー

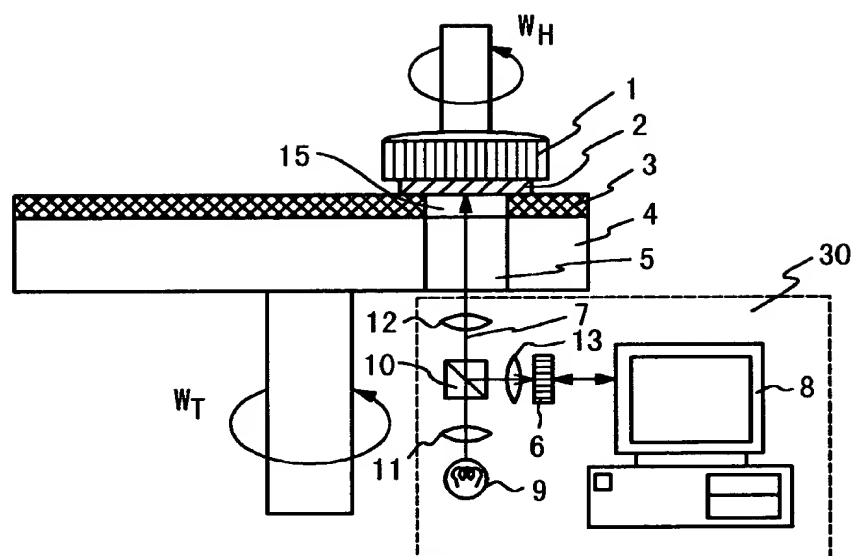
【図 1 9】  $\Sigma$ 、 $\Sigma PB$  の変化

【符号の説明】

- 1        研磨ヘッド
- 2        基板（ウェハ）
- 3        研磨パッド
- 4        定盤
- 5        透光窓
- 6        受光部
- 7        照射光及び反射光
- 8        信号処理部（パーソナルコンピュータ）
- 9        白色光源
- 10      ビームスプリッタ
- 11～13   レンズ
- 15      透明窓材
- 16      研磨剤（スラリー）供給機構
- 17      研磨剤（スラリー）
- 18      金属電極層
- 19      誘電体層
- 20      照射光スポット
- 21      下層部分
- 30      研磨終了点測定装置
- a、b、100、200、300   反射光波
- $\omega_H$     研磨ヘッドの回転を示す
- $\omega_T$     定盤の回転を示す

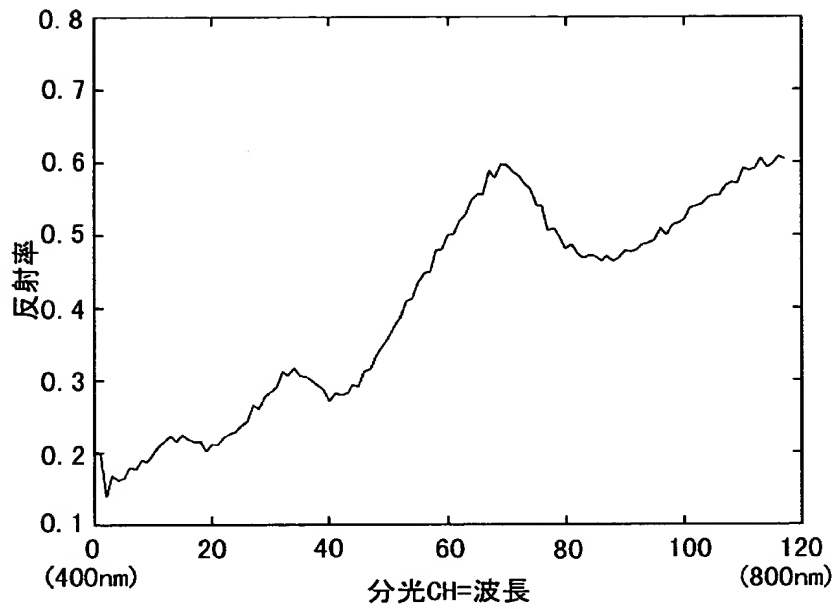
【書類名】 図面

【図 1】

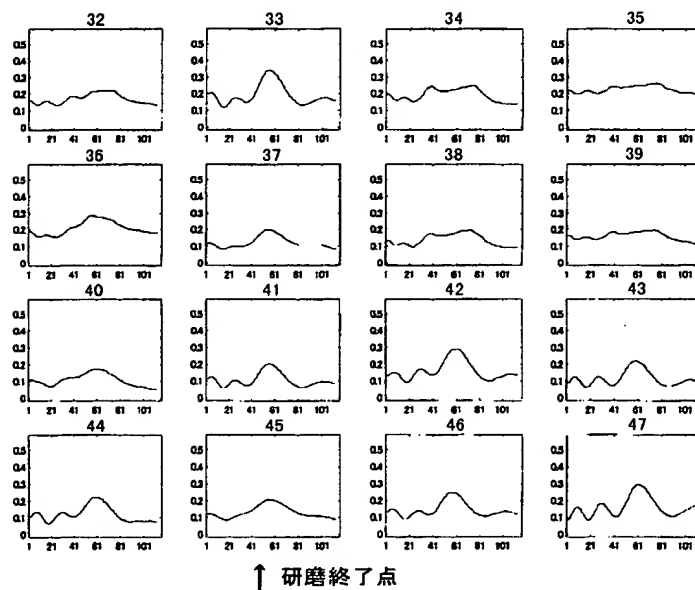




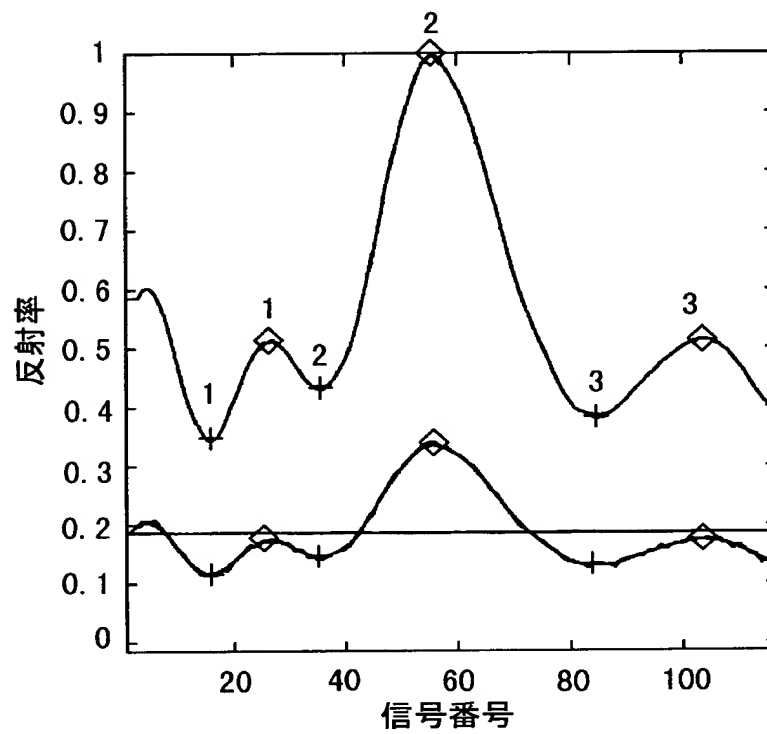
【図 2】



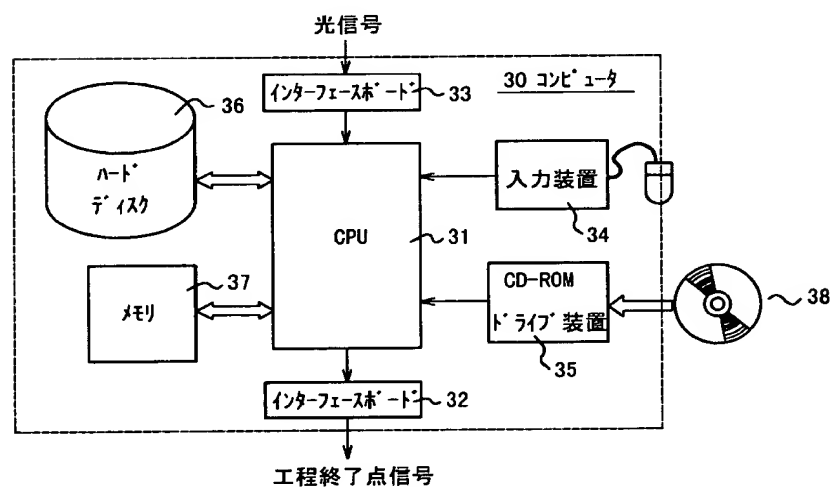
【図 3】



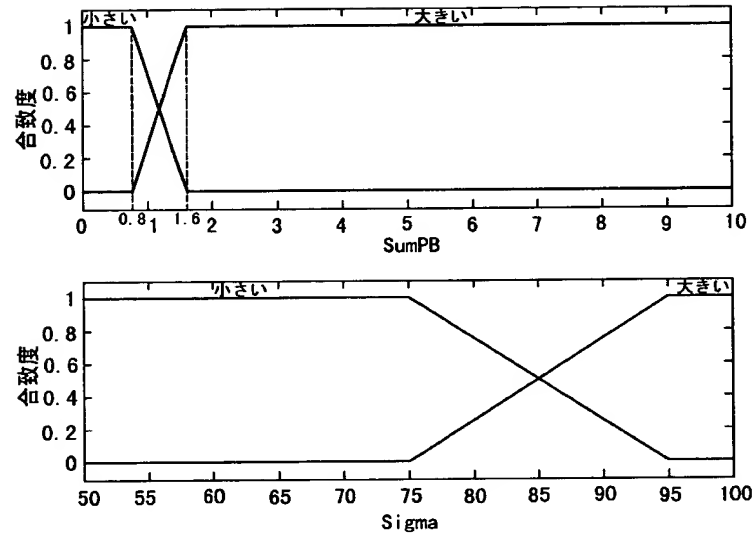
【図 4】



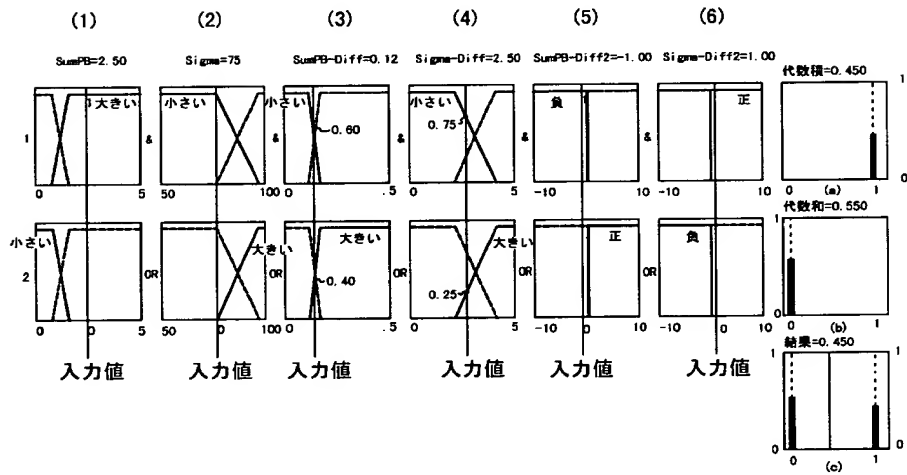
【図 5】



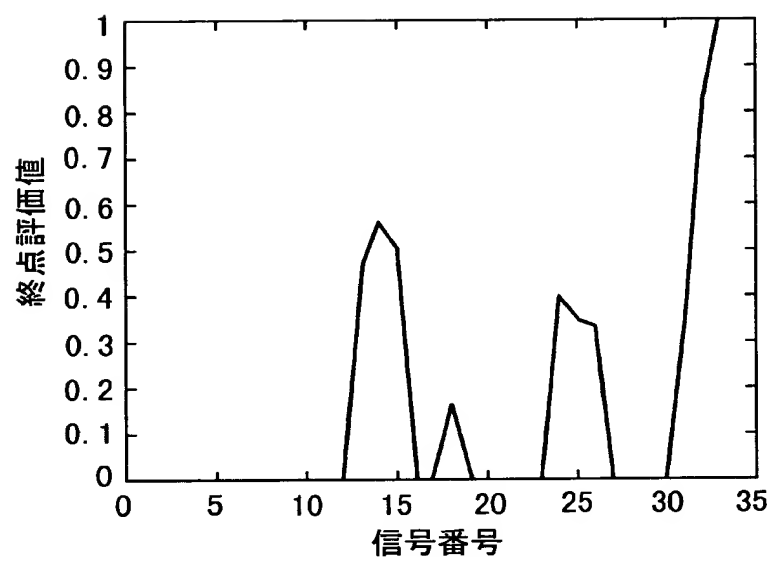
【図 6】



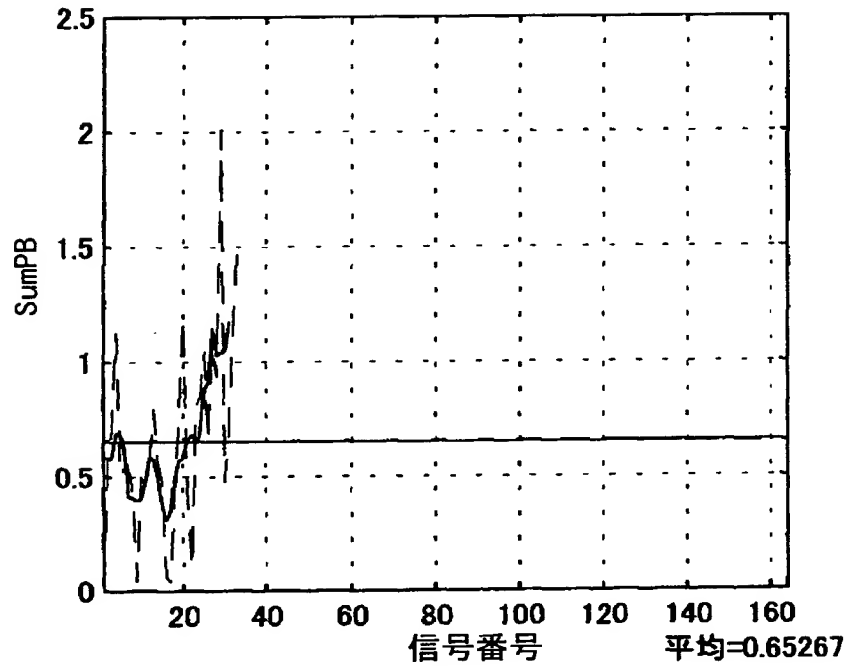
【図 7】



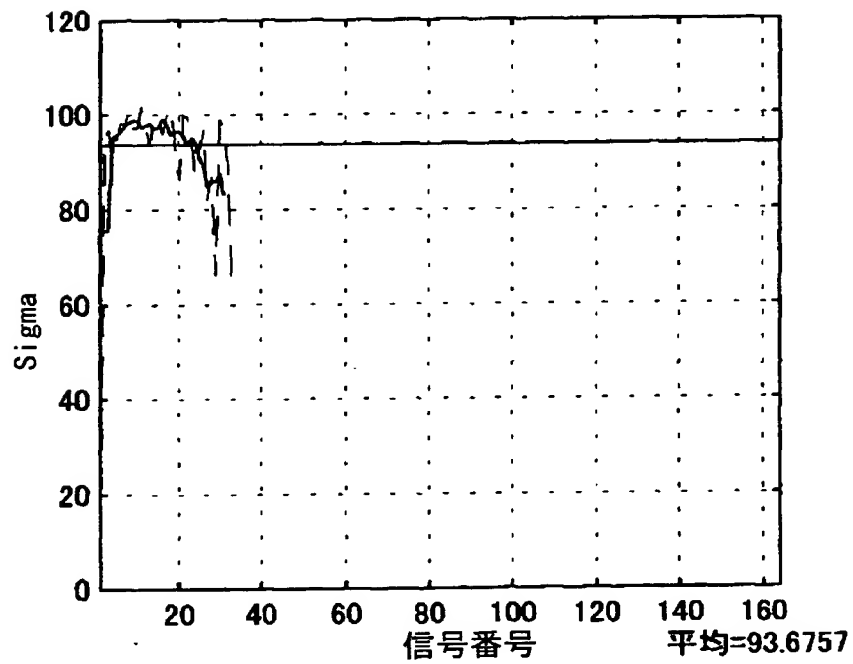
【図 8】



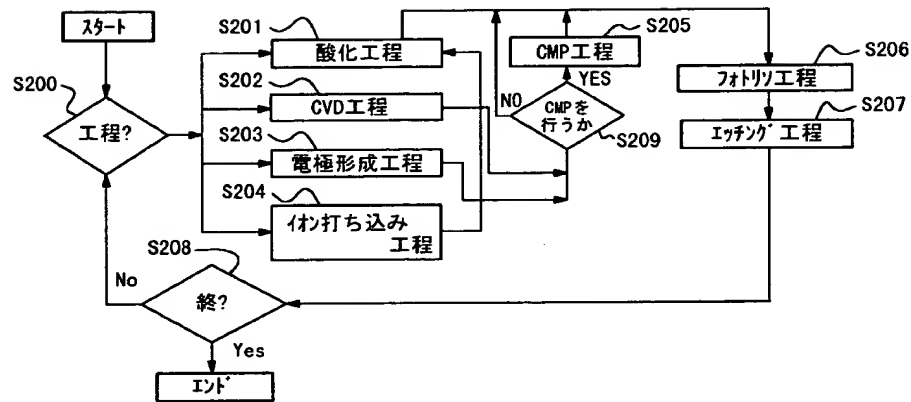
【図 9】



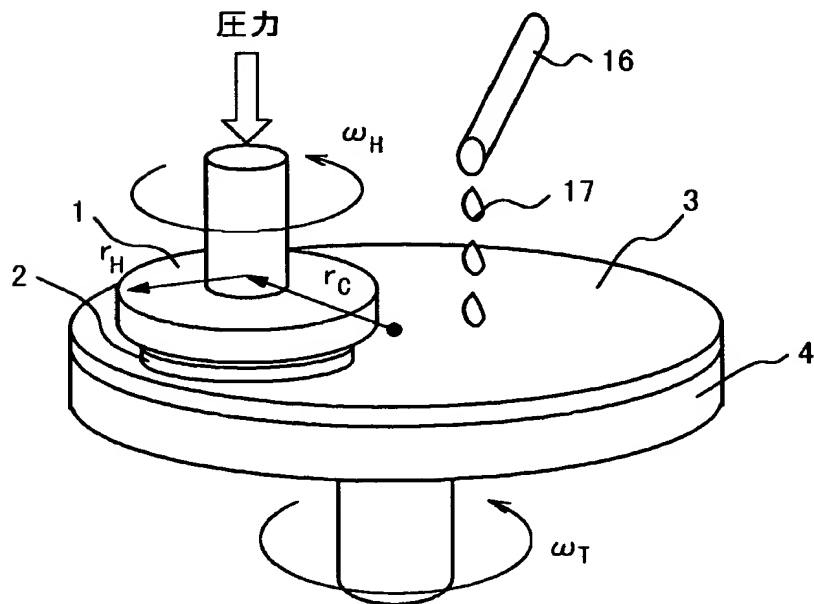
【図 10】



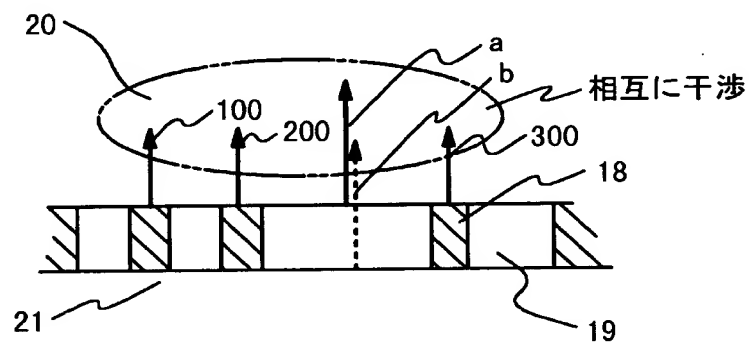
【図 1 1】



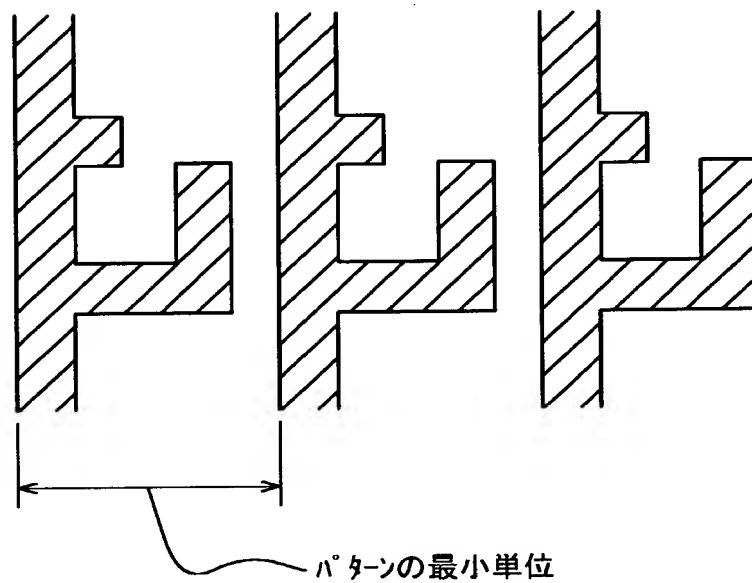
【図 1 2】



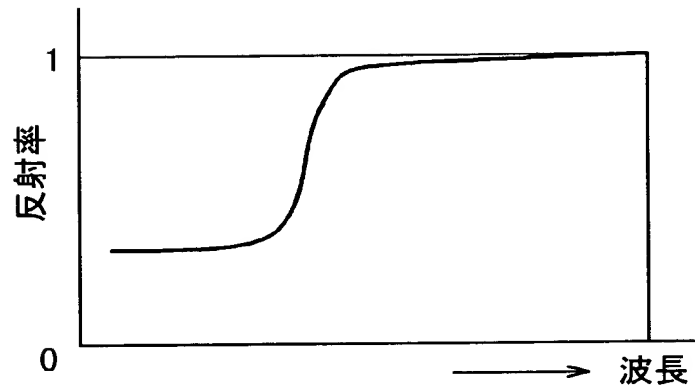
【図 13】



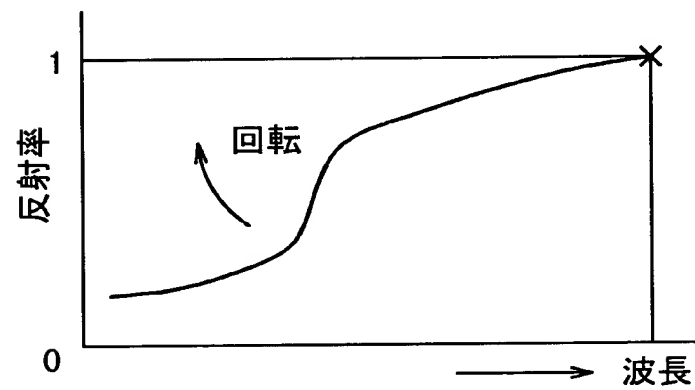
【図 14】



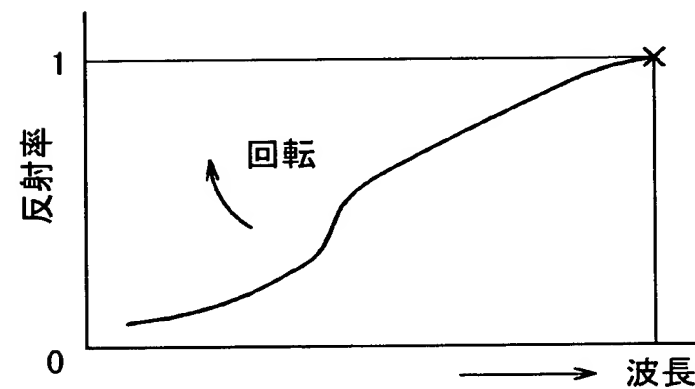
【図 15】



(a) スリ-無し



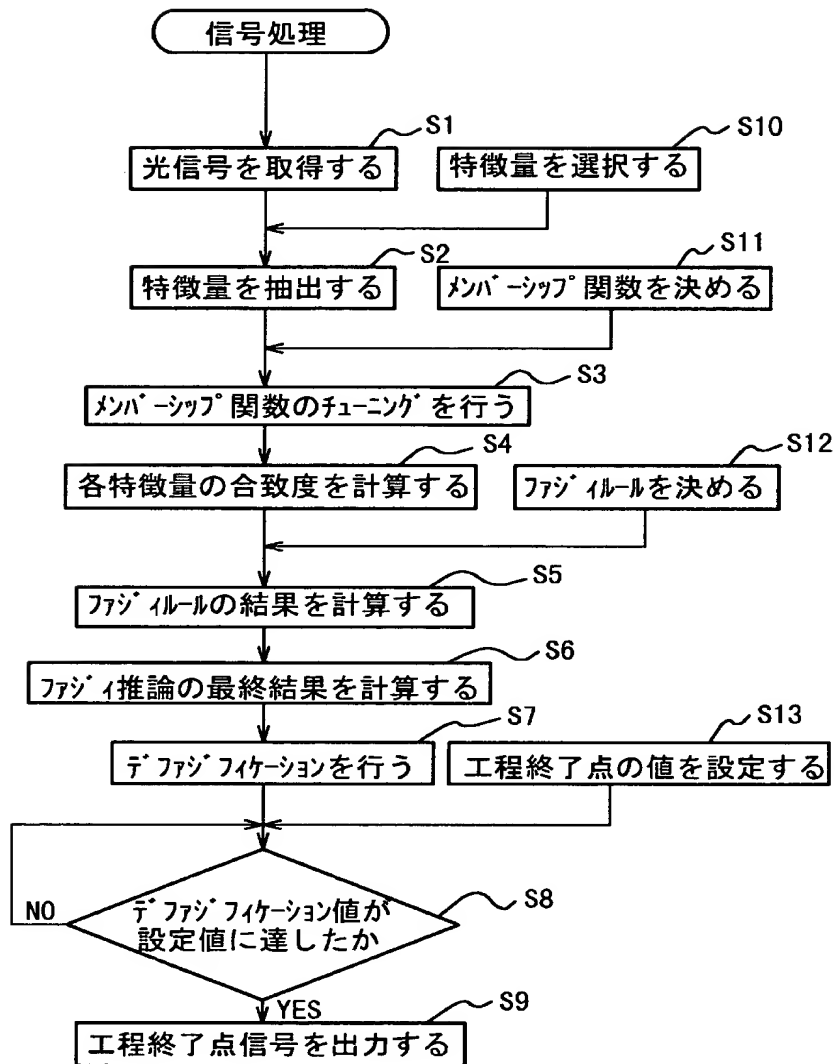
(b) スリ-濃度低



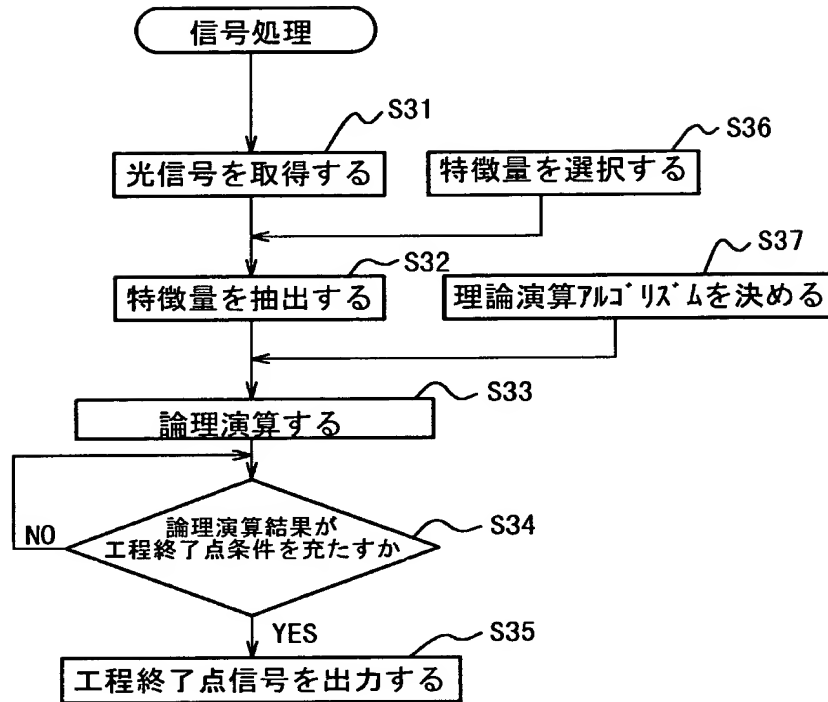
(c) スリ-濃度高



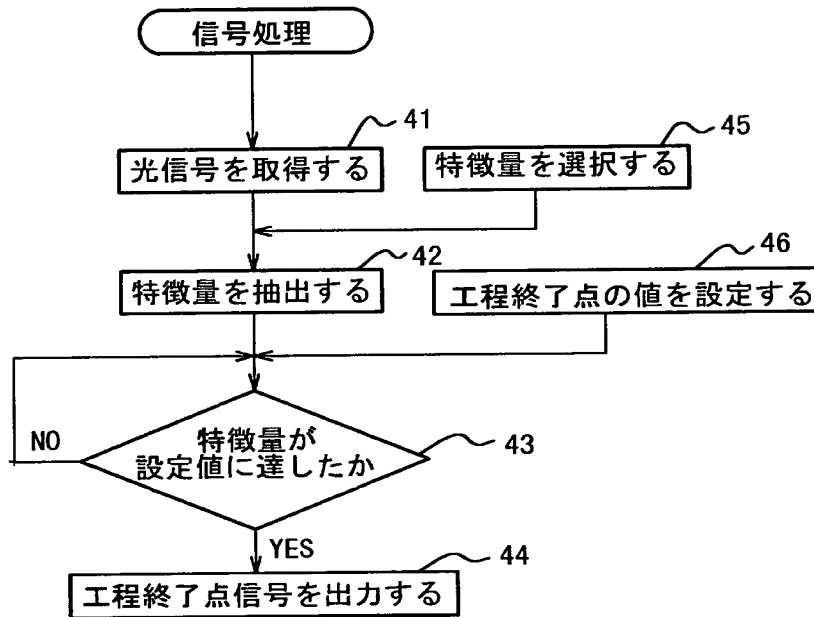
【図 1 6】



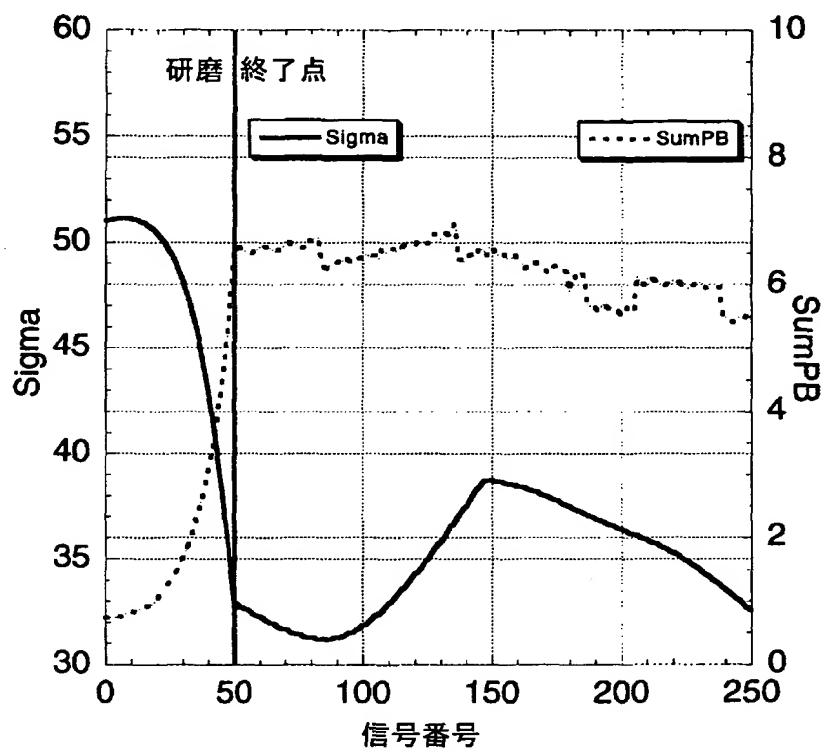
【図 17】



【図 18】



【図 19】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 L S I 等の半導体デバイス製造プロセス等に於いて、ウェハ上の膜の除去工程における工程終了点を、表面にパターンが存在する場合でも、また研磨層が明確に変化しない場合でも、またスラリーや測定位置の違いによる擾乱があっても、高精度に、またその場で ( i n s i t u に ) 測定できる測定装置等を提供することである。

【解決手段】 基板面に白色光を照射し、その反射信号光または透過信号光の片方または両方を検出して得られる信号波形から二つ以上の特徴量を抽出し、この二つ以上の特徴量を用いて論理演算して測定を行う際にファジールール等を用い、更にチューニングを行った。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [ 0 0 0 0 0 4 1 1 2 ]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 2 9 日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都千代田区丸の内 3 丁目 2 番 3 号  
氏 名 株式会社ニコン